

# 自製可調式陶笛之設計製作與分析

郭清進\* 陳麗秋\*\*

高雄縣立忠孝國民小學教師

## 摘要

陶笛具有簡單易學、聲音高雅、體積小巧、攜帶方便等特色，因此，廣受眾人所喜愛。然陶笛的發音是靠空氣的振動所產生的，而空氣的振動會受室溫的影響而有所差異，陶笛經燒結後，其體積是固定不變的，所以無法隨室溫的變動而精準調音是其唯一缺點。

本研究為改良陶笛的缺失，利用哨子的氣窗、針筒的氣腔與陶笛的配孔式音孔結合，自創一種可調音的陶笛，並以電腦測音軟體分析其頻譜，利用統計分析其音孔面積與氣腔體積對音高的影響。經實驗研究的結果，得到下列結論：

- 一、將陶笛的氣腔調大，其基本音就會變低，氣腔與音高成反比。
- 二、開放音孔的組合面積越大，吹奏所發出的頻率就越高。

**關鍵詞:** 聲音的探討、陶笛、電腦測音、自製樂器

# Design, Making and Analysis of Home-Made Adjustable Ocarina

## Abstract

Ocarina is featured with simple, easy, elegant sound, compact and carry-easy characteristics and therefore is widely acceptable. Yet, since Ocarina is generating sound through vibration of air, which in turn is affected by room temperature. After sintering, the size of ocarina is fixed and unchangeable, so it allows no adjustment of pitch precisely with the change in room temperature. This is one of few drawbacks of Ocarina.

In order to improve the discrepancy of Ocarina, we used air window of whistle, air chamber of syringe together with the sound holes of Ocarina in making a sound adjustable Ocarina. The frequency spectrum was analyzed with computer sound fixing and ranging software and statistical software was employed to analyze the effects on pitch of area of sound hole and cubic of air chamber. Through experiment, it is concluded to the following:

1. Increasing air chamber of Ocarina will lower the basic sound pitch, which means that there is inverse proportion relationship between air chamber and pitch.
2. The larger the composite area of opened air hold will give higher frequency when blowing.

**Key Words: Study of Sound, Ocarina, Computer Sound Fixing & Ranging,  
Home-Made Musical Instru**

## 壹、緒論

陶笛是一種古老的樂器，出現年代久遠，在中國古代殷商時期已普遍使用類似陶笛的蛋型吹管樂器「埙」。陶笛有著類似直笛的吹嘴並兼具埙的共鳴體，陶笛是否由埙所演進發展而來已不可考。陶笛屬於吹管樂器，在 Midi 音樂裡也可找到陶笛這項樂器，大部分的吹管樂器是管狀開管式的，而陶笛卻是船形或蛋形的，並且是一種閉管式的樂器。它與長笛類的樂器發聲原理相同，都屬於邊棱音樂器。

陶笛它是一種攜帶方便且簡單易學的樂器，可結合陶藝而製成各式各樣的造型，增加它的藝術性，讓人愛不釋手。在台灣會樂器的人口中，以會吹陶笛者最多。陶笛是由陶土所製作而成的，它的材質取自大自然，因此是最屬於自然和諧的樂器，在中國古代的分類中屬於八音的「土」類。

吹管樂器的發音是靠空氣的振動所產生的，而空氣的振動會受室溫的影響而有所差異，陶笛雖然音色優美，但陶笛經燒結後，其體積是固定不變的，它不像一般的吹管樂器可以調音，因此無法隨室溫的變動而精準調音是其唯一缺點。

為改良陶笛的缺失，本研究利用哨子的氣窗、針筒的氣腔與陶笛的配孔式音孔結合，自創一種可調音的陶笛，其原理猶如直笛伸縮調整頭節與中節的接合長度以改變音高，而陶笛的調音乃改變其共鳴氣腔的大小（調整針筒的推桿位置），為瞭解其可行性，以電腦測音軟體分析其頻譜，並利用統計分析研究。

### 一、研究背景與動機

在國小六年級的「自然與生活科技」課程中，有一「聲音的探討」單元，讓學生了解聲音有高低、大小和音色的變化，進而引導學生利用身邊的一些物品來製作樂器演奏。文中提到振動體的體積越大，則其所發出的聲音越低，為讓學生能更易實驗與瞭解其原理，特將注射針筒與哨子結合，製成「針筒樂器」，以針筒的推桿位置代替試管中的水位高低，加上哨子的吹嘴以便於吹奏出聲音，推拉

推桿即可產生不同高低的聲音，吹奏一首曲子。

本校課後設有陶笛社團，校園中陶笛的樂音此起彼落，令人心曠神怡。而前述的針筒樂器雖可發出樂音，但要吹奏一首曲子，隨著頻率的增加，其拉動的距離相對縮短，在高音的部份，要正確吹出較為不易。因此聯想到利用陶笛的配孔方式來改變音高，在針筒樂器上增加音孔，製成自製可調式陶笛。

## 二、研究目的

本研究預計達成三個目的：

1. 瞭解陶笛的共鳴氣腔對音高(頻率)的影響。
2. 瞭解陶笛的音孔位置與大小對音高的影響。
3. 瞭解陶笛的開放音孔面積與調整共鳴氣腔大小對音高的影響。

## 貳、文獻探討

### 一、聲音的探討

施惠(2007)在「國民小學自然與生活科技」一書中，提到造成吹管樂器音高差異的原因：

1. 空氣柱長短，是吹管樂器產生不同音高的主因

以排笛為例，長短不同的管子正是排笛發出不同音高的關鍵。長的管子因管內空氣柱高，氣流的震動不易，所產生的聲音比較低。短的管子則因管內空氣柱短，氣流的震動容易，因此可以產生高音。

2. 改變「空氣柱長短」可改變音高

運用透明的試管裝水測試發現，當試管內的空氣柱越高，所吹奏出的聲音越低，空氣柱越短，吹奏的聲音就越高。

潘旭建(2006)在「臺灣地區陶笛發展與推動狀況之研究」一文中，探討了陶笛的構造之後，提出下列看法：

1. 陶笛是一種閉管式的樂器。其音響產生是由開放音孔的共振所造成。

2. 陶笛的音孔分布位置並非最重要，孔的大小尺寸才是決定音高最重要的因素。
3. 陶笛在結構上有兩個重要的特點：具有吹嘴且必須是閉管式的樂器。
4. 陶笛吹嘴有兩個很重要的部位，分別是氣道和笛唇，它們除了決定陶笛聲好壞之外，若受到損害，這個陶笛就無法正常使用。

## 二、電腦測音軟體

在過去的測音研究中，所用的測音設備具有相當的專業性，精度問題較少被探討。針對同一個聲音檔案，使用不同的電腦軟體進行測音時，會得到不同測音數據，究其原因可能是軟體本身的精度問題所致，因此，電腦測音軟體的研究是必要的。

翁志文(2007)在「測音軟體之精度檢測與選擇—以曾侯乙編鐘為例」一文中，針對通用音樂分析系統 GMAS、Cool Edit Pro、PULSE LabShop、Speech Analyzer、Solo Explorer 和 Praat 等六個曾經用來測音的軟體進行檢測。提及對曾鐘音律之測定而言，PULSE LabShop 與 Cool Edit Pro 均能達到精度上的要求，而 PULSE LabShop 可以用自動定時距的方式進行測音，Cool Edit Pro 則無自動定時距的測音功能。

在徐飛、夏季和王昌隧(2004)在「賈湖骨笛音樂聲學特性的新探索—最新出土的賈湖骨笛測音研究」一文中，使用 Cool Edit Pro 進行測音。鄭慧慈（2008）在「聲音的探討—以電腦測音分析陶磬與陶鐘為例」一文中，亦利用 Cool Edit Pro 進行測音。

翁志文認為 Cool Edit Pro 無自動定時距的測音功能是其缺點，但研究者認為隨機的測音功能在統計分析中更為重要，只要能在任何時間點都可輕易得到頻譜分析即可，Cool Edit Pro 2 在這方面是毋庸置疑的。Cool Edit Pro 電腦測音軟體普遍被採用，因此，本研究採用 Cool Edit Pro 來進行測音，其測音畫面如圖 1 所示：



圖 1 Cool Edit Pro 測音畫面

## 參、研究設計與方法

### 一、可調式陶笛之設計製作

(一) 製作材料：哨子、注射針筒、寶特瓶各一個。

(二) 製作方法：

1. 將哨子底部切開。
2. 將寶特瓶瓶蓋挖一與哨子底部相同大小的方洞。
3. 將切開的哨子與挖洞的寶特瓶瓶蓋膠接結合。
4. 去除寶特瓶的瓶身，只留瓶頭部位。
5. 切除注射針筒的頭部。
6. 將瓶頭與注射針筒結合。
7. 將結合哨子的瓶蓋與具有瓶頭的注射針筒旋入接合。
8. 在注射針筒的筒身挖與配孔式陶笛類似的音孔。

製作完成的自製可調式陶笛如圖 2 所示：

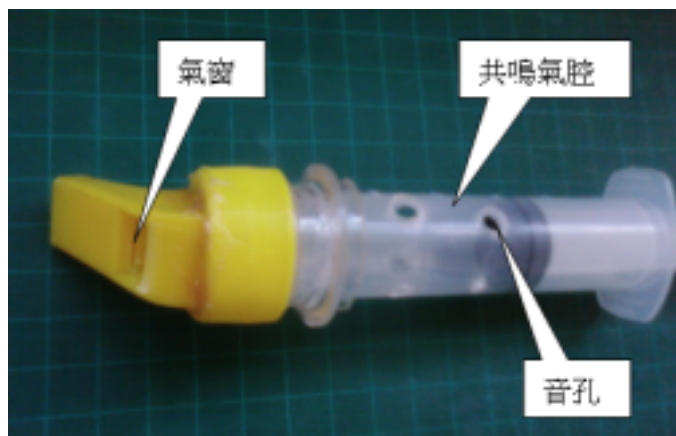


圖 2 自製可調式陶笛

## 二、實驗計畫

本研究採實驗研究法，其實驗計畫流程，如圖 3 所示：



圖 3 實驗計畫流程圖

### (一) 擬定研究問題

基於研究目的與文獻探討，提出下列幾項研究問題，並加以分析：

1. 陶笛的共鳴氣腔對音高(頻率)的影響？
2. 陶笛的音孔位置與大小對音高的影響？
3. 陶笛的開放音孔面積與調整共鳴氣腔大小對音高的影響？

## (二) 實驗計畫的設計

### 1. 建立假設：

- (1) 假設 1：陶笛的共鳴氣腔對音高有顯著差異。
- (2) 假設 2：陶笛的音孔位置與大小對音高有顯著差異。
- (3) 假設 3：陶笛的開放音孔面積與調整共鳴氣腔大小對音高有顯著差異。

### 2. 界定變項：自變項—假設 1：共鳴氣腔

假設 2：音孔位置與大小

假設 3：音孔面積、共鳴氣腔

依變項—頻率。

干擾變項—吹奏力道、室溫、環境雜音。

### 3. 設計實驗變項與操控：

- (1) 假設 1：共鳴氣腔的改變由針筒上的推桿來控制。
- (2) 假設 2：音孔位置如配孔式陶笛的位置，而音孔大小則利用金鋼砂挫刀修之。
- (3) 假設 3：音孔面積以開放指孔來改變組合面積。  
共鳴氣腔的改變由針筒上的推桿來控制。

### 4. 控制干擾變項：

其干擾變項有吹奏力道、室溫、環境雜音，應加以控制。

### 5. 實驗設計：

- (1) 假設 1：陶笛的共鳴氣腔對音高有顯著差異。
  - a. 自變項：共鳴氣腔
  - b. 水準值：共鳴氣腔有四個水準（ $15\text{mm}^3$ 、 $20\text{mm}^3$ 、 $25\text{mm}^3$ 、 $30\text{mm}^3$ ）
  - c. 依變項：頻率
- (2) 假設 2：陶笛的音孔位置與大小對音高有顯著差異。
  - a. 自變項：音孔位置與大小
  - b. 水準值：音孔位置與大小有六個水準：其位置如圖 4 所示，位置 1



( $2.30\text{mm}^2$ )、位置 2 ( $4.22\text{mm}^2$ )、位置 3 ( $6.04\text{mm}^2$ )、位置 4 ( $7.28\text{mm}^2$ )、位置 5 ( $6.64\text{mm}^2$ )、位置 6 ( $7.16\text{mm}^2$ )



圖 4 自製可調式陶笛的音孔位置

c.依變項：頻率

(3) 假設 3：陶笛的開放音孔面積與調整共鳴氣腔大小對音高有顯著差異。

a.自變項：氣窗、共鳴氣室

b.水準值：開放音孔面積組合十個水準，依假設 2 的音孔做如表 1 的音孔組合

表 1 開放音孔面積組合

音孔組合	C	D	E	F	G	A	B	C+	D+	E+
		1	2	1	1	1	2	1	1	1
開				2	3	2	3	2	2	2
放						3	4	3	3	3
孔								4	4	4
位									5	5
										6

共鳴氣腔四個水準 ( $25\text{mm}^3$ 、 $27.5\text{mm}^3$ 、 $30\text{mm}^3$ 、 $32.5\text{mm}^3$ )

c.依變項：頻率

6. 觀察依變項：

(1) 資料量測方法：

依變項：頻率

本研究採用 Cool Edit Pro 2 來進行測音，陶笛依不同的實驗水準間斷吹奏，並進行錄音存檔，每一間隔可視為一個母群體。由不同的母群體中，隨機各抽取 5 個樣本，進行頻譜分析，自動測定其頻率。

(2) 資料量測記錄：將頻譜分析自動測定所得之頻率記錄之。

#### 7. 統計分析：

(1) 描述性統計：依自變項各水準所產生的頻率資料，計算平均數、標準差。

(2) 迴歸分析：分析自變項與依變項的相關係數，並求得最佳迴歸曲線。

## 肆、研究分析與發現

### 一、陶笛的共鳴氣腔對音高(頻率)的影響

#### 1. 描述性統計分析

陶笛的共鳴氣腔對音高的描述性統計，如表 2 所示：

表 2 陶笛的共鳴氣腔對音高的描述性統計分析

依變數: 頻率			
氣腔體積	平均數	標準誤	個數
15	1106.300	1.95448	5
20	922.316	2.28522	5
25	788.712	2.15656	5
30	704.006	.84562	5

#### 2. 迴歸分析

陶笛的共鳴氣室與頻率之相關與迴歸分析，如表 3 與圖 5 所示：

表 3 陶笛的共鳴氣室對頻率的相關與迴歸分析

方程式	模式摘要					參數估計		
	R <sup>2</sup>	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2
二次曲線	1.000	67429.45	2	17	.000	1955.123	-71.485	.993

自變數: 共鳴氣室  
依變數: 頻率

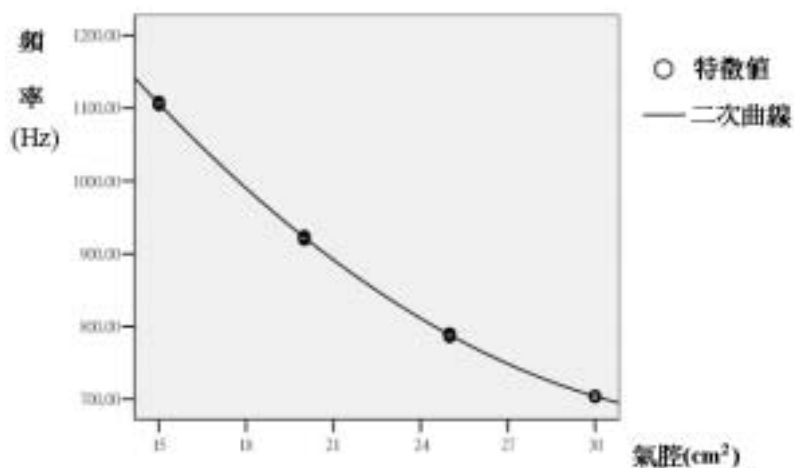


圖 5 陶笛的共鳴氣腔對頻率的迴歸曲線

由表 3 的參數估計得知，其迴歸方程式為：

$$\hat{Y} = 1955.123 - 71.485X + 0.993 X^2$$

### 3. 實驗發現

- (1) 在有意水準  $\alpha = .05$  下，陶笛的共鳴氣腔對音高有顯著差異。
- (2) 陶笛的共鳴氣腔對頻率的迴歸曲線，其決定係數  $R^2 = 1.00$ ，表示共鳴氣腔對此迴歸線的貢獻度為 100%，共鳴氣室與頻率呈高度負相關。

## 二、陶笛的音孔位置與大小對音高的影響

### 1. 統計圖

陶笛的音孔位置與大小對音高的影響，其散佈圖如圖 6 所示：

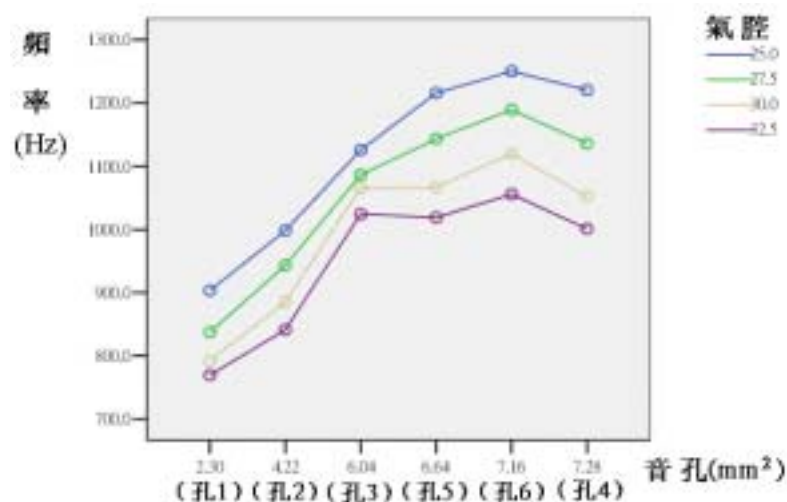


圖 6 在不同的氣腔條件下，陶笛的音孔位置與大小對音高的散佈圖

## 2. 迴歸分析

陶笛的共鳴氣腔與音孔大小對頻率之相關與迴歸分析，如表 4~5 與圖 7~8 所示：

表 4 陶笛的音孔對頻率二次曲線的模式摘要

模式摘要			
R	R <sup>2</sup>	調整後的 R <sup>2</sup>	標準誤估計
.859	.738	.734	69.987

自變數：音孔  
依變數：頻率

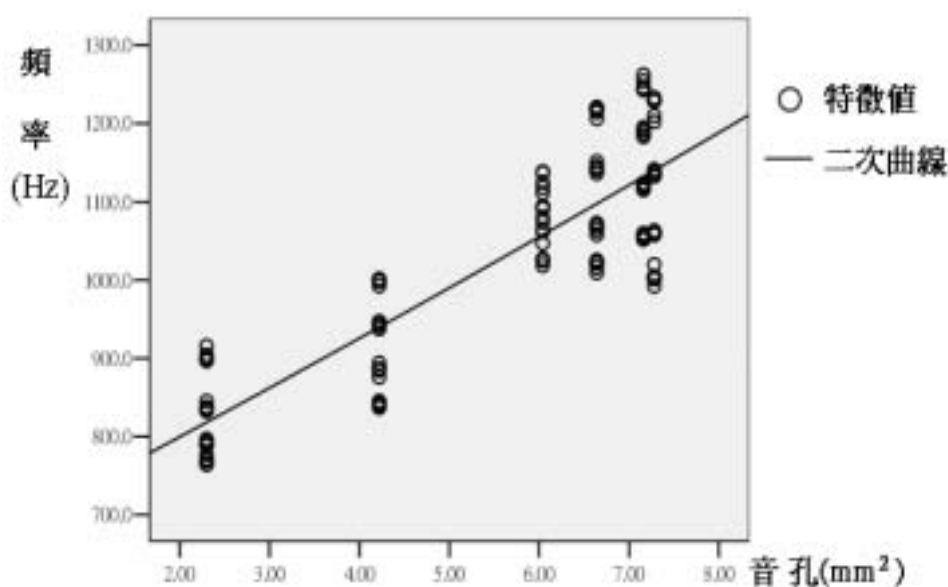


圖 7 陶笛的音孔大小對頻率的迴歸曲線圖

表 5 陶笛的共鳴氣腔對頻率二次曲線的模式摘要

模式摘要			
R	R <sup>2</sup>	調整後的 R <sup>2</sup>	標準誤估計
.465	.216	.203	121.063

自變數：氣腔  
依變數：頻率

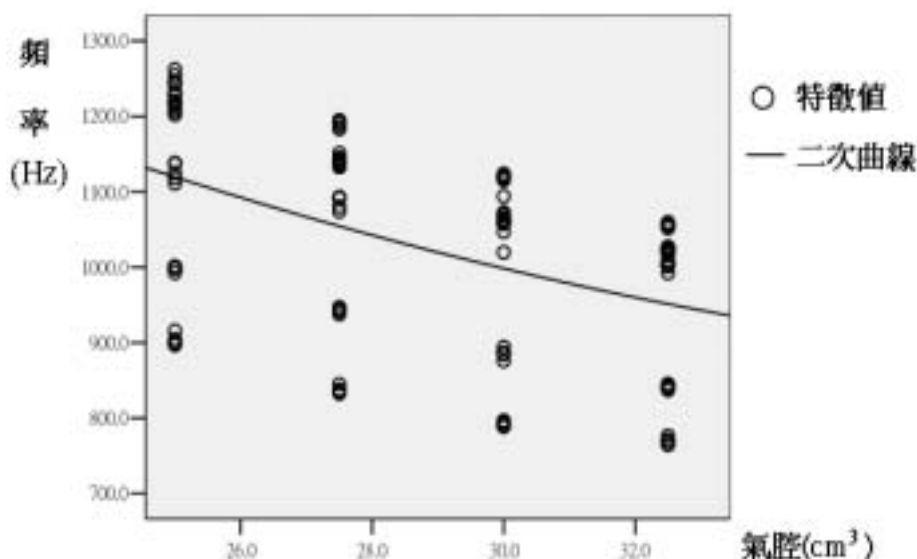


圖 8 陶笛的共鳴氣腔對頻率的迴歸曲線

### 3. 實驗發現

- (1) 在有意水準  $\alpha = .05$  下，陶笛的音孔位置與大小對音高有顯著差異。
- (2) 由圖 6 在不同的氣腔條件下，陶笛的音孔位置與大小對音高的散佈圖中，可以看出音孔與氣窗的距離越近，其測得的頻率會較低，此點與開放式的直笛氣腔相反。其影響程度隨著氣腔的增大而更加明顯。
- (3) 由表 4 與表 5 分別得知，陶笛的音孔對頻率的決定係數  $R^2 = .734$ ，表示音孔對此迴歸線的貢獻度為 73.4%，陶笛的共鳴氣室對頻率的決定係數  $R^2 = .203$ ，表示共鳴氣腔對此迴歸線的貢獻度為 20.3%。
- (4) 音孔與頻率呈正比關係，而共鳴氣腔與頻率則呈反比關係。

## 三、陶笛的開放音孔面積與調整共鳴氣腔大小對音高的影響

### 1. 統計圖

將所測得的資料作成散佈圖，其中在氣腔為  $32.5\text{cm}^3$  時，開放音孔面積達  $130\text{mm}^2$  以上則會產生倍頻的氣音，故未予以記錄，陶笛的開放音孔面積對音高的散佈圖，如圖 9 所示：

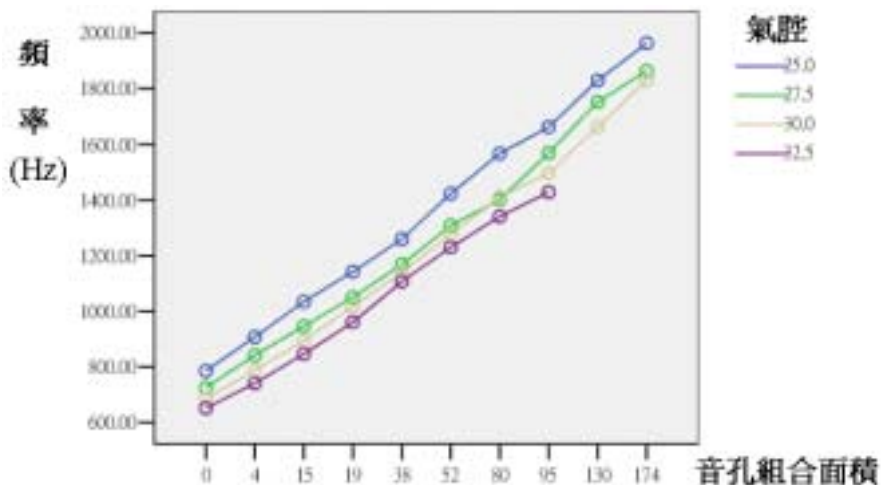


圖 9 在不同氣腔下，陶笛的音孔組合對頻率的散佈圖

2. 迴歸分析

在相同的氣腔條件下，其陶笛的開放音孔面積對音高的決定係數  $R^2$  均在 .987 以上。而同時改變陶笛的開放音孔面積與調整共鳴氣腔大小，其對音高的模式摘要與回歸曲線，如表 6 與圖 10 所示：

表 6 陶笛的共鳴氣室對頻率的相關與迴歸分析

方程式	模式摘要					參數估計		
	$R^2$	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2
二次曲線	.954	1938.689	2	187	.000	777.315	10.815	-.026

自變數: 音孔面積  
依變數: 頻率

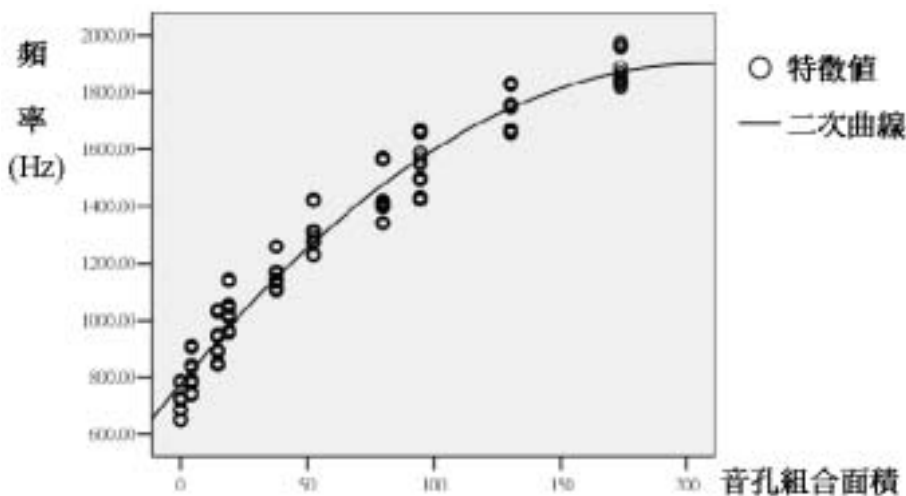


圖 10 陶笛的音孔面積對頻率的迴歸曲線

### 3. 實驗發現

- (1) 在有意水準  $\alpha = .05$  下，陶笛的開放音孔面積與調整共鳴氣腔大小對音高有顯著差異。
- (2) 由圖 9 得知，在相同的開放音孔面積下，調整加大氣腔則音高會降低，當氣腔加大時則需有更大的氣窗，否則在音孔面積增大時易產生氣音。
- (3) 由表 6 與圖 10 得知，在不同氣腔下，陶笛的音孔組合面積與頻率仍有高度的正相關。

## 伍、結論與建議

### 一、結論

依實驗計畫的結果，得到下列結論：

- (一) 將陶笛的氣腔調大，會使其基本音變低，氣腔與音高成高度負相關。
- (二) 在長筒型的密閉式氣腔下，其音孔的位置會影響音高，但在配孔式陶笛的音孔組合下，音孔組合面積與音高依然呈現高度的正相關。
- (三) 開放音孔的組合面積越大，吹奏所發出的頻率就越高。
- (四) 經調整後的氣腔，其開放音孔面積對音高的決定係數  $R^2$  均在 .987 以上。

### 二、建議

本實驗所用的哨子，其吹嘴的設計並非針對發出各種頻率所設計的，將它用來作為陶笛的吹嘴，當較大的開放音孔面積時，它的笛唇角度無法使大量的氣流經由氣窗溢出與笛唇發生摩擦產生聲音，因此會造成倍頻的氣音。若能有現成的專用吹嘴，直接旋轉即可套用在各種容器上，在容器上直接挖音孔或藉由裝入不同的水量來改變音高，使學生在學習「聲音的探討」單元時，能將理論與實際的樂器運用結合，將更能提高學生的學習興趣。

## 參考文獻

- 施惠（2007）。國民小學自然與生活科技—第六冊。南一書局。
- 翁志文（2007）。測音軟體之精度檢測與選擇—以曾侯乙編鐘為例。國立台南藝術大學：『民族音樂學在台灣』學術研討會。
- 徐飛、夏季、王昌隧（2004）。賈湖骨笛音樂聲學特性的新探索——最新出土的賈湖骨笛測音研究。中國期刊全文資料庫：音樂研究，1。
- 潘旭建（2006）。臺灣地區陶笛發展與推動狀況之研究。國立臺南大學音樂教育學系音樂科教學碩士論文，未出版，台南市。
- 鄭慧慈（2008）。聲音的探討—以電腦測音分析陶磬與陶鐘為例。國立高雄師範大學工業科技教育學系教學碩士論文，未出版，高雄市。